

Dispositivos y experiencias sencillas para explicar el principio de acción y reacción

Pablo Cassinello Espinosa

I.E.S. Federico García Lorca. Las Rozas. Madrid. España. pablo.cassinello@educa.madrid.org

[Recibido en agosto de 2014, aceptado en marzo de 2015]

Se ilustran y aprenden mejor los fenómenos científicos cuando se realizan experimentos sencillos con materiales cotidianos. Proponemos dispositivos fáciles de hacer para estudiar la tercera ley de la dinámica, principio de acción y reacción. También interpretamos esta ley en diversas experiencias en que actúan distintos tipos de fuerzas como magnéticas, de choque, electrostáticas, relacionadas con el empuje del agua... Igualmente se analizan distintos malentendidos sobre este principio fundamental.

Palabras clave: Principio de acción y reacción; Interacción; Cohete; Choque; Empuje .

Simple experiences and devices in order to explain action reaction principle

It's better to carry out easy experiments by simple and everyday objects, in order to better learn scientific laws. That's why we propose simple devices to study dynamic's third law, action reaction principle. We also interpret this law in some experiences related to several forces as buoyancy, magnetic one, force colliding, electrostatic... Moreover, we analyze misunderstandings related to this fundamental principle.

Keywords: Action-reaction principle; Interaction; Rocket; Collision; Buoyancy

El tercer principio de la dinámica no siempre se comprende e interpreta del todo bien. Utilizando un material asequible y barato proponemos el uso de simples dispositivos y entretenidos experimentos para ilustrar de distintas maneras esta ley, los cuales nos sirven de base para aclarar posibles malentendidos sobre este principio fundamental.

El valor educativo de un experimento es, a menudo, inversamente proporcional a la complejidad del dispositivo experimental (Maxwell 1871). Además, hacer del aprendizaje una experiencia divertida es bueno para profesores y alumnos (García Molina 2011). Por eso proponemos dispositivos muy fáciles de hacer para constatar la tercera ley de Newton: «cuando un cuerpo A ejerce una fuerza sobre otro B, el cuerpo B ejerce simultáneamente sobre A una fuerza de igual magnitud y dirección pero de sentido contrario» (Fernández Rañada 1993). Los primeros montajes que presentamos están hechos con pajitas de refresco, material barato y asequible que ya se ha utilizado en diversas demostraciones científicas (Cañamero *et al.* 2006).

El sencillo mecanismo representado en la parte izquierda de la figura 1 consta de dos pajitas con fuelle unidas (metiendo una parcialmente en la otra). A continuación debe colocarse un tope. Nosotros cortamos el extremo de un taco de plástico para tornillos (de número adecuado al grosor de la pajita). Hay que soplar poniendo los labios por delante del tope, sin apretar

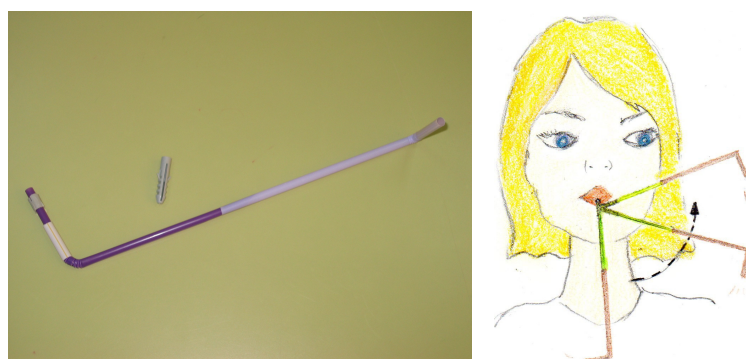


Figura 1. (Izq.) Los lados más cortos de cada pajita deben estar perpendiculares. (Der.) Ilustración del movimiento circular por reacción de la pajita.

demasiado para permitir que la pajita gire. Algunos prefieren como ayuda, sobre todo si no tienen mucha experiencia, poner un trocito de pajita más gruesa donde se ponen los labios (blanca con raya amarilla en la imagen). Por el principio de acción y reacción, como la pajita debe hacer una fuerza en el recodo para que el aire salga despedido hacia el lado corto, debe haber otra fuerza igual, de sentido contrario, sobre la pajita (Ehrlich 1990). Así se consigue un rápido movimiento, continuo y giratorio, tal como se ilustra en la parte derecha de la figura 1. Se constata que cuanto más cortas sean las pajitas giran más deprisa porque la velocidad angular es inversamente proporcional al radio para una misma velocidad lineal (pues se sopla con la misma intensidad independientemente de la longitud de las pajitas).

El segundo mecanismo que proponemos lo llamamos el molinillo y aparece representado en la figura 2. También puede construirse fácilmente (Gupta 2013). Consta de una pajita gruesa y otra más fina. Se atraviesa la fina por un agujero practicado en la pajita gruesa transversal cuyos extremos se tapan con cinta (verde en el ejemplo) y en cada uno se hace un pequeño corte lateral. Antes de insuflar aire por la pajita fina hay que poner un dedo en su extremo para que el aire salga por un pequeño agujero hacia la pajita gruesa transversal y, finalmente, se expulsa por los agujeros de sus extremos generándose por reacción el movimiento giratorio. Se aconseja poner al final de la pajita fina un trocito de cinta que hace de tope. Las fuerzas de acción-reacción son fáciles de identificar en este experimento, pero no en el siguiente.

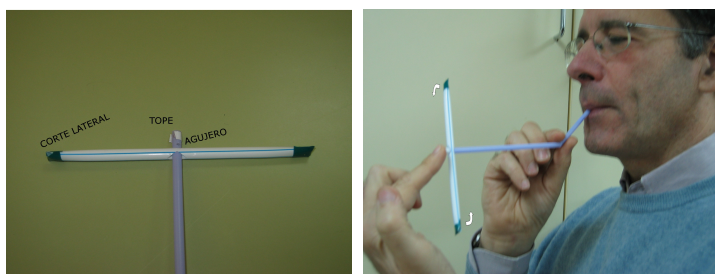


Figura 2. Al soplar se consigue un rápido movimiento circular de la pajita transversal.

Se ata una cuerda fina en el extremo de uno o dos objetos (en nuestro caso dos cilindros) y se cuelgan sumergidos en agua. Si se pregunta cuándo pesa más el agua (antes de sumergirlos o después), se tiende a responder que el agua pesa igual que antes de sumergirlos porque están siendo sostenidos por la mano. Sin embargo, si el agua ejerce una fuerza (empuje, según el principio de Arquímedes) sobre los cilindros, debe haber otra que realizan éstos sobre el agua de sentido contrario, según el tercer principio, y consecuentemente el agua pesa más, como puede apreciarse en la figura 3 (García Molina 2002b). Cuando un pequeño objeto, como una pelota, flota en agua algunos alumnos piensan que son fuerzas de acción y reacción la fuerza peso de la pelota y el empuje que ejerce el agua sobre ella. Este error se debe a que estas dos fuerzas son iguales y de sentido contrario como se les ha dicho que son siempre las fuerzas en la tercera ley. Pero el peso y el empuje no son de acción y reacción, porque están aplicadas sobre el mismo cuerpo. En realidad, como el peso es la fuerza de la tierra sobre la pelota que flota, la reacción correspondiente es la fuerza que ejerce la bola sobre la tierra de efecto imperceptible, pero no por eso inexistente. Así que actúan muy lejos una de la otra (una en la pelota y otra en el centro de la tierra). Esa misma bola provocaría la misma fuerza sobre la tierra si en vez de estar



Figura 3. Constatación de la fuerza de empuje y su reacción. (Izq.) 365 g si sólo hay un vaso con agua. (Der.) Si se cuelgan y sumergen dos cilindros de 18 cm^3 sube a unos 400 g, aunque se están sujetando los hilos.

flotando estuviera cayendo por el aire a esa misma altura. En cuanto a la fuerza empuje que realiza el agua, va necesariamente acompañada de la fuerza de reacción que es la que ejerce la pelota sobre el agua, que no es el peso aunque tenga el mismo valor. Esta fuerza hacia abajo que ejerce un cuerpo en el agua explica el experimento: el peso aparente de un líquido es mayor si sumergimos cualquier objeto, aunque esté suspendido sin tocar el fondo del recipiente.

La siguiente experiencia se basa en la salida de agua y no de aire. Es un sencillo dispositivo basado en la máquina de Herón de Alejandría (siglo I). Por el principio de acción y reacción la «Eolípila» se movía en sentido contrario a la salida del vapor por dos tubos acodados. Nuestro dispositivo consiste en una botellita de plástico a la que se practican dos pequeños orificios enfrentados cerca de la base en donde se acoplan dos pajitas con fuelle (figura 4). Cuando la botella se llena de agua y se cuelga del hilo se produce un movimiento giratorio en sentido contrario al de la salida del agua por las pajitas acodadas. Sirve como ejemplo de la tercera ley de Newton, ilustrando además el funcionamiento de la máquina de Herón, excepto en que se utiliza agua en vez de vapor y no hace falta calentar nada.



Figura 4. Al llenarse de agua y tirar del hilo, la botella gira en sentido contrario al de la salida del agua.

Con pajitas es fácil y espectacular comprobar el tercer principio para fuerzas entre cargas electrostáticas. Se requiere confeccionar dos dispositivos iguales. Para cada uno se necesita una goma, el tubito interior con carga de tinta de un bolígrafo y una pajita transversal atravesada por un clavo (figura 5). Cuando se frota el extremo de una de las pajitas con un paño adquiere carga negativa como puede comprobarse si se acerca otra ya cargada. Se produce un movimiento giratorio porque cargas del mismo signo se repelen. Para comprobar la ley de acción y reacción, se acercan los dispositivos con las dos pajitas transversales cargadas, se constata que actúan las mismas fuerzas sobre ambas, por lo que ambas se repelen y giran (figura 5). No importa a qué fuerza llamamos acción y a cuál reacción, por eso es preferible, en este caso y en todos en general, describirlas como interacciones para evitar esa tendencia a considerar que una de ellas es exclusivamente la acción y otra la reacción. Se podría llamar acción o reacción a cualquiera de las dos. Incluso erróneamente, se las diferencia en tiempo, afirmando que primero es la acción y luego la reacción. Sin embargo, son simultáneas y no existe una sin la otra porque nunca hay una fuerza aislada. En cualquier situación, las fuerzas siempre son pares. Si hay una fuerza debe de haber otra igual de sentido contrario.

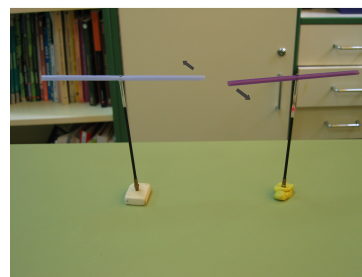


Figura 5. Dispositivos para estudiar fuerzas de repulsión entre pajitas cargadas según la ley de acción y reacción.

Es un error relativamente frecuente pensar que si acercamos dos objetos cargados desigualmente, el cuerpo con más carga ejerce más fuerza que el otro. Efectivamente, cuando hemos frotado mucho más una de las pajitas que la otra, para que su carga sea mayor, hemos constatado que se tiende a afirmar que esa pajita ejerce una fuerza mucho mayor que la otra cuando, según Newton, son iguales, como así se constata y se comprueba. Tampoco se piensa que las fuerzas de acción y reacción son iguales en otras situaciones. Por ejemplo, cuando una pelota choca y rompe un cristal, se afirma por algunos que es más fuerte el golpe sobre el cristal que el que ejerce éste sobre la pelota. O cuando un coche grande y pesado choca con uno ligero. Se confunde la fuerza (que es igual) con su efecto (que es distinto, dependiendo del material o tamaño). También hay confusión cuando hay objetos que se están moviendo. Por

ejemplo, si una persona quieta tira de una cuerda y consigue arrastrar un bulto, hay discentes que dicen que la fuerza con que se tira es mayor que la que actúa sobre el tirador porque sólo se mueve el objeto. Se confunde, en definitiva, la fuerza con su efecto.

Otro dispositivo que se propone consiste en un globo hinchado al que se le adhiere una pajita con dos cintas adhesivas. Se tiende una cuerda entre dos extremos de la estancia. Se pasa la cuerda por dentro de la pajita con el globo (figura 6). Cuando se suelta desde un punto se comprueba que va rápidamente hasta el otro. Es más espectacular si el globo tiene que ascender. El globo se mueve por el mismo principio de acción y reacción que hace moverse a los cohetes. En estos aparatos se produce una reacción química que provoca una expulsión acelerada de gases en un sentido y el movimiento del artefacto en el otro sentido. Proponemos



Figura 6. Globo a punto de soltarse para moverse a reacción.

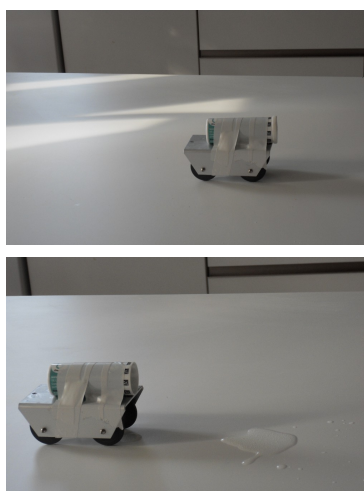


Figura 7. Carrito con aspirina efervescente antes (arriba) y después (debajo) de que salga despedido el tapón a gran velocidad

un sencillo experimento para ilustrarlo. Sólo hace falta un tubo de aspirinas (que no cierre a rosca sino a presión) y un carrito o cochecito. Se sujeta el tubo con cinta aislante (figura 7). Sólo hay que poner dedo y medio de agua y una quinta parte de una aspirina efervescente. Si se espera unos segundos se observa cómo sale el tapón con gran fuerza al mismo tiempo que el carrito se mueve hacia atrás, como lo hacen los cohetes. El gas que se forma es el dióxido de carbono debido a la reacción entre dos excipientes que tiene la aspirina: bicarbonato y ácido cítrico.

No siempre se han identificado correctamente las fuerzas de acción y reacción que permiten volar a un cohete. El 13 de enero de 1920 se escribió un editorial en *The New York Times* en el que se criticaba una propuesta del profesor Goddard de un viaje lunar (Anónimo 1920). Se decía que «después de que el cohete salga de nuestro aire y empiece su viaje más largo, ni será acelerado ni mantenido por la explosión de cargas». Se afirmaba que el profesor Goddard «no conoce la relación de acción y reacción, y la necesidad de tener algo mejor que un vacío contra el que reaccionar». Goddard, insistía el periódico, «sólo parece carecer del conocimiento que se dispensa diariamente en los institutos». La idea equivocada en que se basaban los redactores de este editorial es creer que el cohete ejerce una fuerza sobre el aire circundante y por la fuerza de reacción que ejerce este aire sobre el cohete, se mueve éste. Por eso se pensaba en la imposibilidad de viajar por el espacio sin aire. Lo que no se comprendía es que lo que hace el cohete es una fuerza sobre los gases que expulsa y por tanto se manifiesta una fuerza en sentido contrario que sí le hace moverse por el espacio vacío. En relación con el movimiento en el vacío, puede plantearse una curiosa cuestión. Supóngase que un astronauta tuvo que salir a realizar labores de mantenimiento fuera de la nave. Cuando utilizaba una herramienta el astronauta se soltó unos metros de la nave (sin ninguna conexión con ella). Se trata de hallar cómo puede moverse en estas condiciones y volver a su «casa» en el espacio sin aire. Si se ha asimilado bien este principio puede contestarse que en estas condiciones un astronauta sólo puede moverse en dicho espacio arrojando un objeto (la herramienta que manipulaba) porque así sobreviene otra fuerza igual sobre él de sentido contrario, que aunque sea lenta le llevará a la nave porque en el espacio no hay prácticamente rozamiento.

Las fuerzas de acción y reacción también pueden ser magnéticas. Es lo que ocurre en el «tubo de Lenz». Este dispositivo sirve para explicar las leyes de Faraday y Lenz (Bohigas 2009). Puede realizarse fácilmente con un rollo de papel de aluminio de cocina que se coloca en una balanza casera y un imán potente (figura 8). Cuando se deja caer el imán por el interior del rollo de aluminio lo hace a velocidad constante debido a la fuerza magnética de las corrientes inducidas creadas en el aluminio cuando cae el imán. Ahora bien, si hay una fuerza del aluminio hacia arriba sobre el imán igual a su peso (correspondiente a una masa de 30 g), debe haber otra igual de sentido contrario sobre el rollo de papel de aluminio. Efectivamente, cuando el imán va cayendo la balanza indica 30 gramos más que se observa fácilmente porque el imán cae lentamente. Si se utilizara un tubo de cobre en vez de aluminio la velocidad de caída sería 1,6 veces más lenta pues la velocidad depende directamente de la resistividad del metal (Ehrlich 1990).



Figura 8. La balanza indica que la masa del aluminio es 265 g. Cuando el imán va cayendo marca 295 g.

Hay juguetes que sirven muy bien de ejemplo de la tercera ley como el resorte de caucho, semiesfera de paredes gruesas elásticas que al caer desde una cierta altura y al precipitarse contra el suelo se eleva mucho. Al chocar recupera su forma original haciendo una fuerza contra el suelo que hace que éste empuje al resorte alcanzando una gran altura (Güemez 2010). Otro juego muy espectacular consiste en las bolas superpuestas (figura 9). Para que caigan alineadas tienen un cilindro que las atraviesa que presenta un reborde de tal manera que sólo la superior, la más pequeña puede salir despedida. Es sorprendente dejarlo caer desde una pequeña altura pues se observa que la pequeña bola de encima alcanza una altura muy superior a la inicial. Puede explicarse que la primera bola que choca es la inferior contra el suelo y por tanto recibe una fuerza (de reacción) igual que repercute en el choque que sucede inmediatamente después con la bola que tiene encima. Esta segunda bola, impelida con una gran fuerza de reacción choca a su vez después con la que tiene encima... Al final, sobre la última bola pequeña superior influyen todas las fuerzas de reacción que han actuado sobre las bolas inferiores siendo así que actúa sobre ella una fuerza muy superior a la que experimentaría si cayera sola directamente sobre el suelo. Es fácil calcular que cuando se dejan caer dos bolas la superior llega hasta una altura que puede ser como máximo 9 veces su altura inicial y hasta 49 veces si se logra hacerlo con tres (Ehrlich 1990).



Figura 9. Juego de 4 bolas superpuestas.

Finalmente, proponemos otro sencillo y didáctico ejemplo de la tercera ley de Newton con un patinete (o un monopatín) y un ventilador, dispuestos como se indica en la parte izquierda de la figura 10. Se plantea a la audiencia si puesto el ventilador en marcha, será más o menos efectivo colocar una vela (o pantalla) para conseguir que el monopatín se mueva. La mayoría de las veces se contesta que sí porque se piensa que así el aire ejercerá mayor fuerza para mover el conjunto. Entonces se pone en marcha a tope el ventilador con «vela» (parte derecha de la figura 10) y... se observa que no se mueve absolutamente nada. Entonces se quita la vela y, con asombro de algunos de los presentes, se observa que ahora sí se consigue que se mueva.

La explicación es sencilla: nada ni nadie puede empujarse a sí mismo. No podemos elevarnos cogiéndonos nosotros mismos de los pies y luego tirar hacia arriba. Cuando se pone la vela, no hay fuerzas externas que modifiquen el momento lineal del sistema (García Molina 2002a). Si quitamos la vela sólo actúa sobre el conjunto la fuerza de reacción a la que realiza el ventilador empujando el aire. Y, por tanto, el monopatín se mueve hacia atrás.

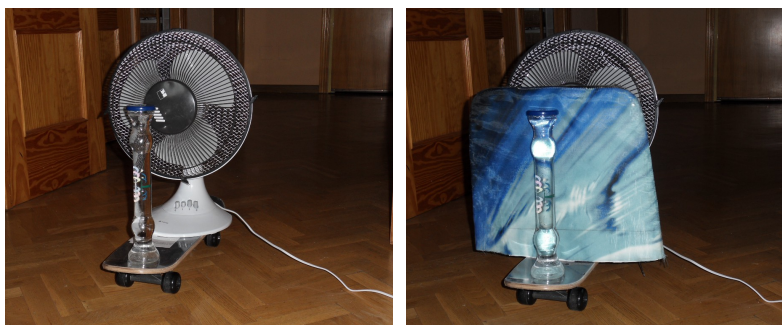


Figura 10. (Izq.) Monopatín, ventilador y cilindro vertical para apoyar la vela (o pantalla). (Der.) Se ha utilizado de «vela» un trozo de una tabla de nadar de poliestireno.

Referencias

- Anónimo (1920) A severe strain on credulity, His plan is not original (sección *Topics of the Times*) p. 12 en *The New York Times* (13.01.1920). New York.
- Bohigas X. (2009) Observación de la ley de Lenz con un imán y un tubo. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 60, 73-81.
- Cañamero A., Quirós I., Gómez M. A. (2006) La ciencia de las 1001 pajitas. p. 148 en *VII Feria Madrid por la Ciencia*. Madrid. Santillana - Comunidad de Madrid.
- Ehrlich R. (1990) *Turning the world inside out: and 174 other simple Physics demonstrations*. New Jersey. Princeton University Press, pp. 35, 61, 168.
- Fernández-Rañada A. (1993) *Física básica*. Tomo 1, p. 111. Madrid. Alianza.
- García Molina R. (2002a) Velero con ventilador, Cuestión número 2 de [Simple+mente física](#).
- García Molina R. (2002b) Peso pendiente de un hilo, Cuestión número 9 de [Simple+mente física](#).
- García Molina R. (2011) Ciencia recreativa: un recurso didáctico para enseñar deleitando *Revista Eureka sobre enseñanza de las Ciencias* 8 (Número Extraordinario), 370-392.
- Güémez J., Fiolhais C., Fiolhais M. (2010) Juguetes en clases y demostraciones de Física. *Revista Iberoamericana de Física* 6, 45-54.
- Gupta A. (2013) [Toys from trash](#).
- Maxwell J. C. (1871) *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, Vol. II. W. D. Niven (ed.). New York. Dover (1965). pp. 241-255.
- UNESCO (1973) *Low-Cost Equipment for Science and Technology Education*. París. UNESCO.